

# Verbesserte PFAS- Bodenwäsche

Erfahrungen im Projektmaßstab  
und zukünftige Entwicklungen

November 2024

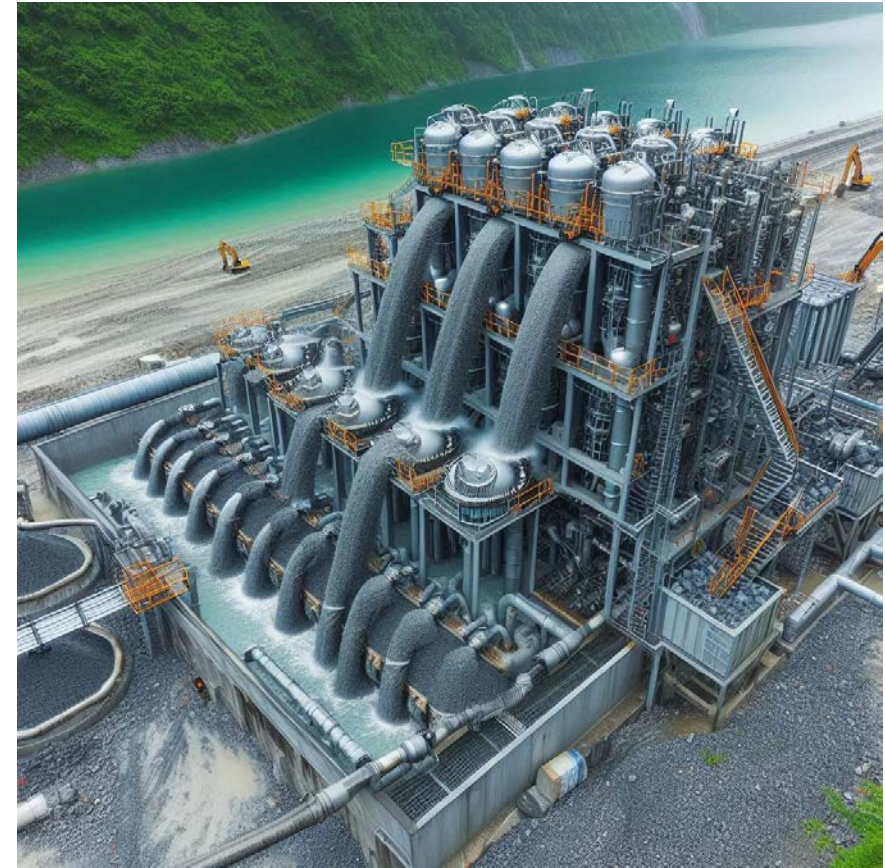
Dr. Benjamin Faigle  
Bernhard Volz  
Thomas Meyer

Züblin Umwelttechnik GmbH  
benjamin.faigle@zueblin.de  
www.zueblin-umwelttechnik.com



**ZÜBLIN**  
WORK ON PROGRESS

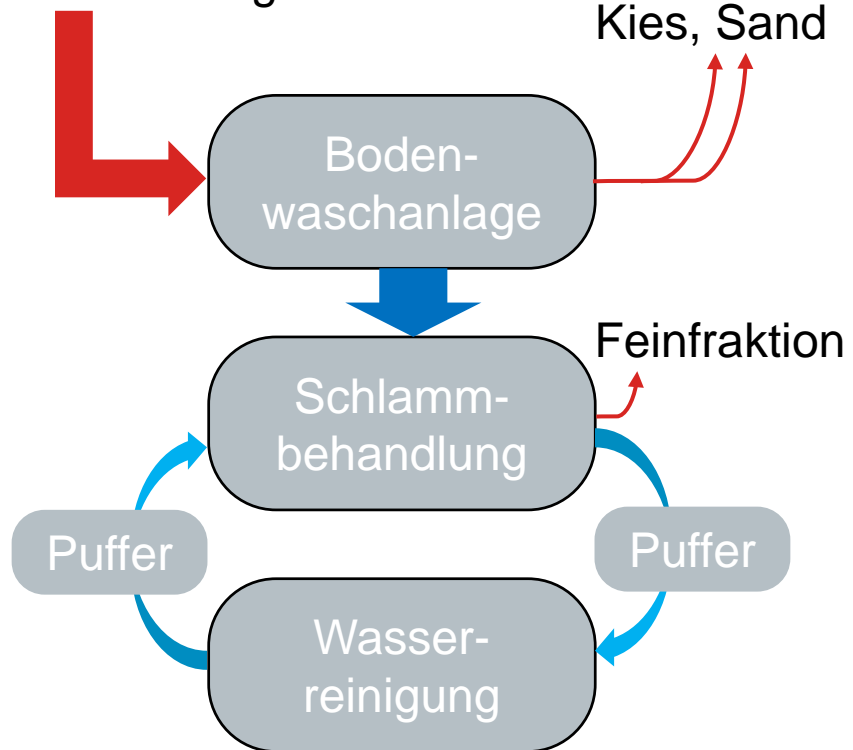
# Verbesserte PFAS-Bodenwaschanlage?



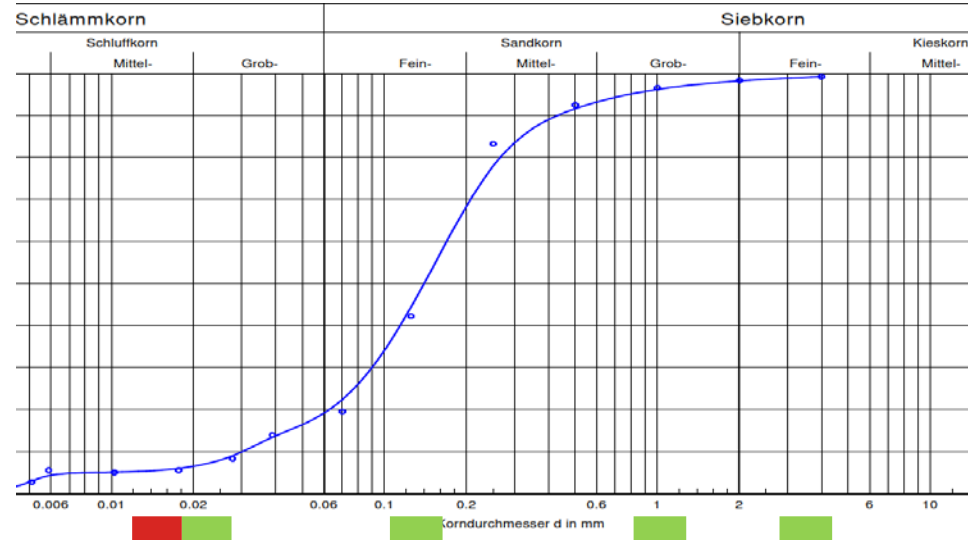
Quelle: DALL-E via <https://www.bing.com/create>

# Kernelemente der PFAS-Bodenwäsche

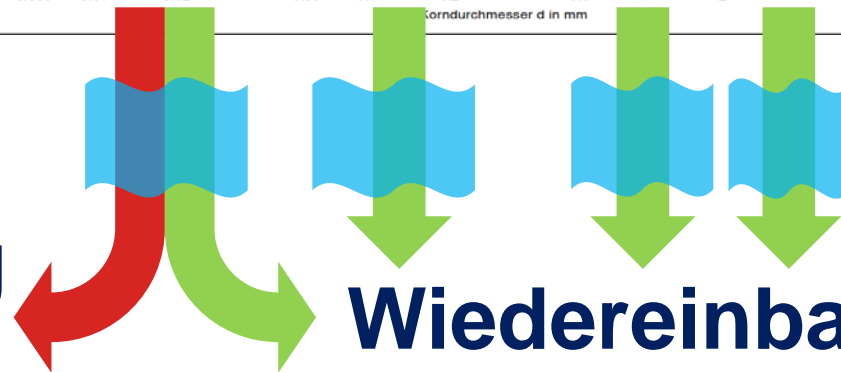
Materialaufgabe



# Bodenwäsche Basics



Entsorgung



Wiedereinbau /  
Wiederverwendung

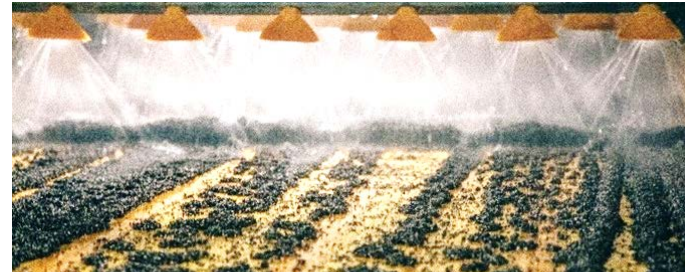
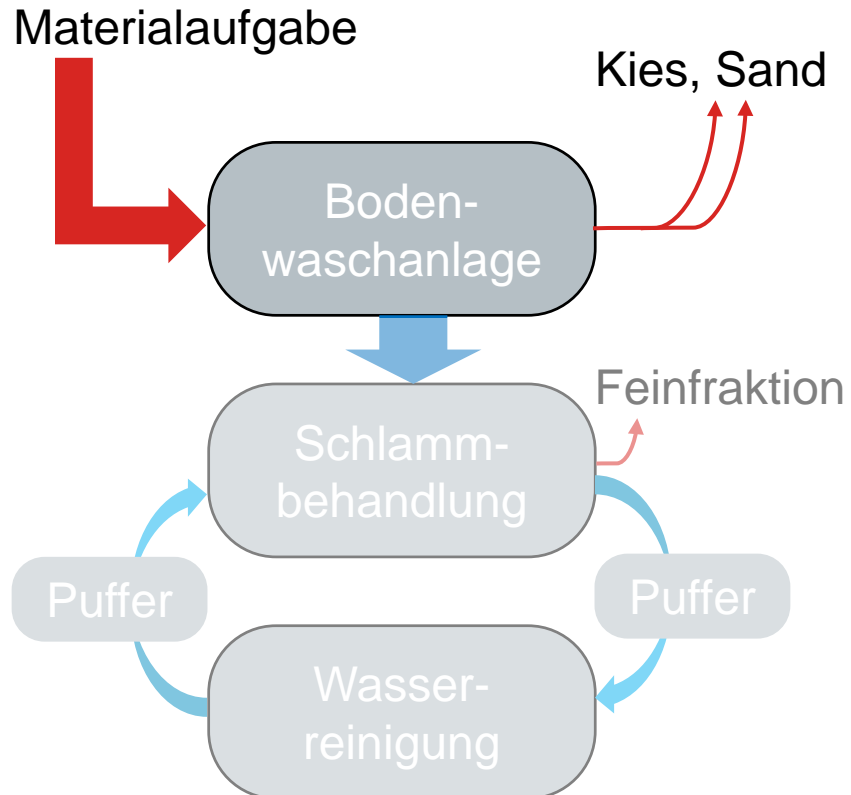
1. Klassierung
2. Abreinigung
3. Entwässerung
4. Qualitätskontrolle
5. Wiederverwendung

# Gliederung des Vortrags

1. Einleitung
2. Technik des Bodenwaschverfahrens
3. Potential
4. Ausblick



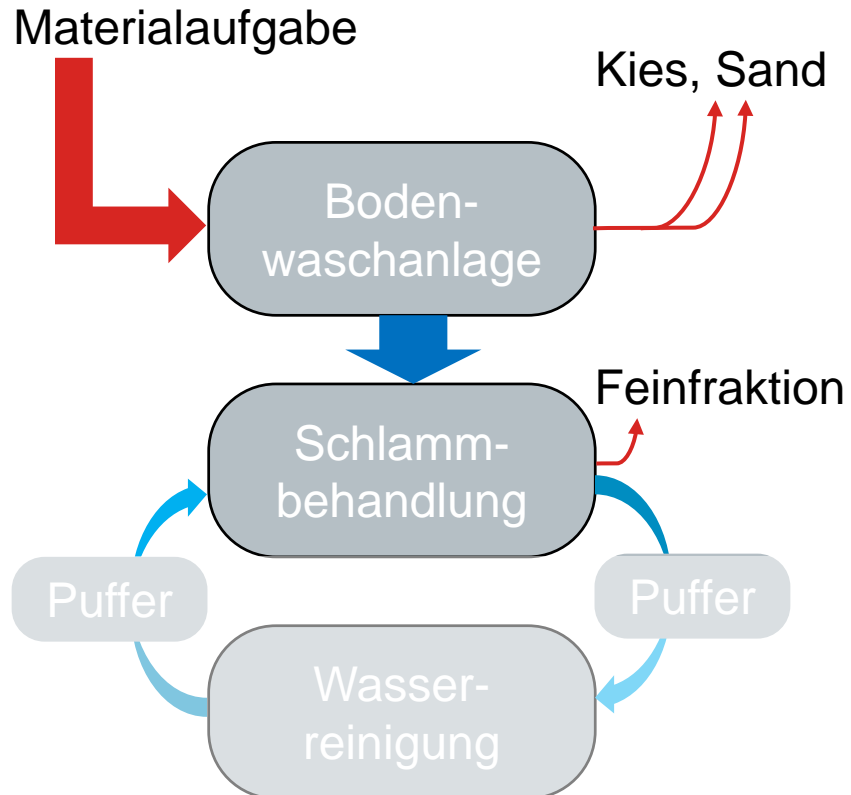
# Bodenwaschanlage: Klassierung & Wäsche



## Mehrstufiger Waschprozess

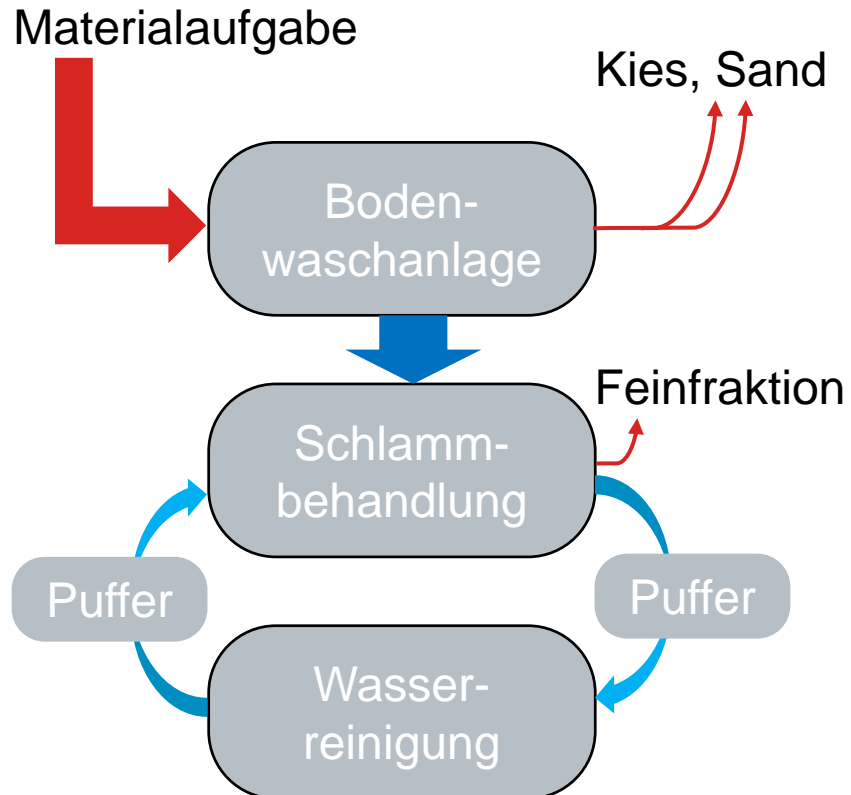
- Nassklassierung unter mehrstufiger Bedüsung
- Aufstromklassierer
- Hydrozyklon
- Entwässerungssieb

# Schlammbehandlung



- Leistung: 300-400 m<sup>3</sup>/h
- Reaktionsbehälter
  - Dosierung von Fällungs- und Flockungshilfsmittel
- Schrägklärer
- Schlammstapelbehälter
- Puffer mit Nachflockung

# Waschwasserreinigung



## Reinigungsanlage

- Gesamtkapazität  
–  $Q = 200 \text{ m}^3/\text{h}$
- 4 Reinigungsstraßen
- 3 Reinigungsstufen

## Puffer

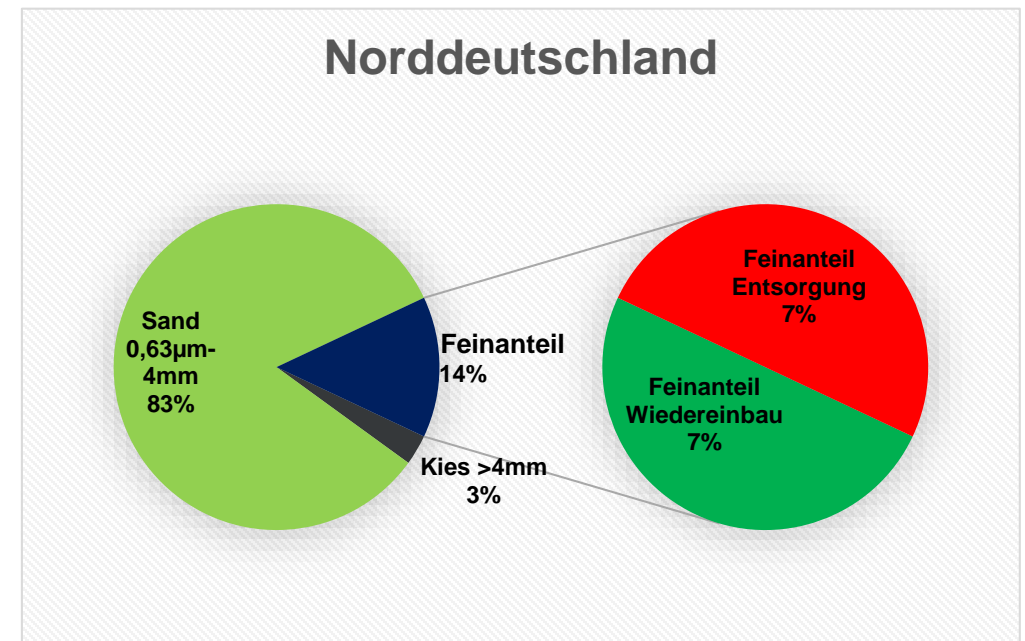
- Puffervolumen Rein-  
bzw. Schmutzwasser
- Je  $3.000 \text{ m}^3$



# Potential der PFAS-Bodenwäsche

## Bodenwäsche ist in Projektmaßstab erfolgreich

- PFAS Terra Pure® am Standort Norddeutschland:
  - Aktuell >340.000 t erfolgreich gewaschen



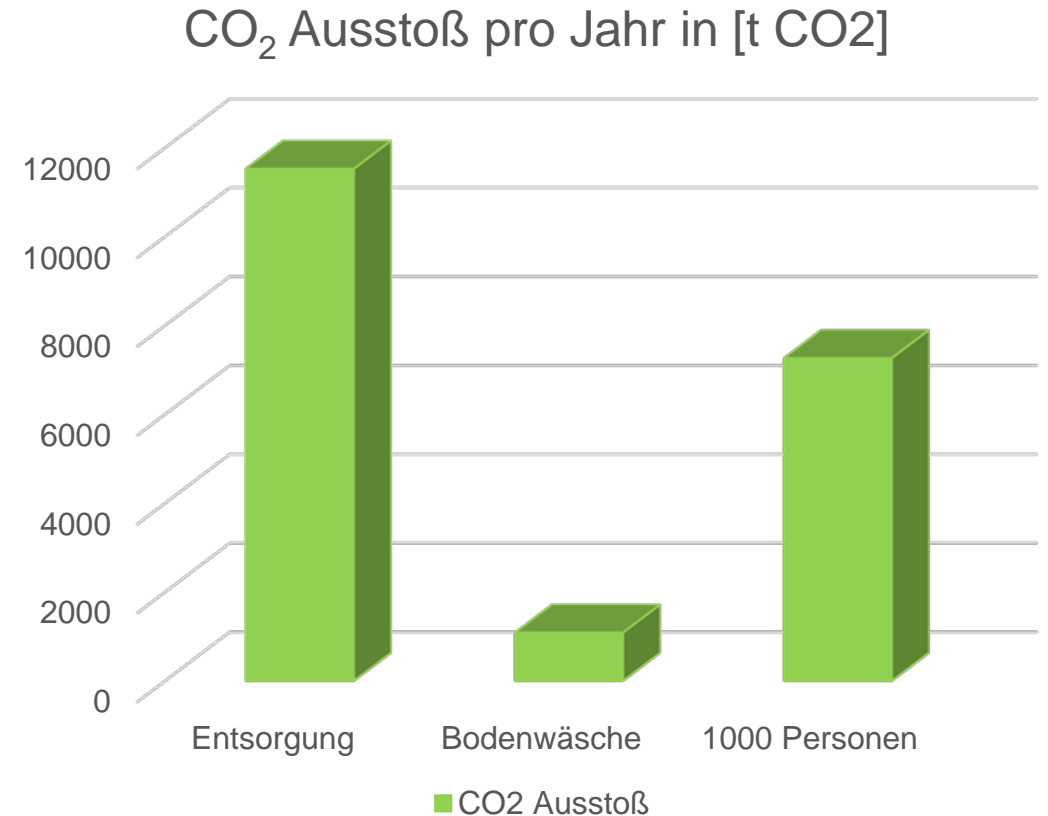
# Besser als Entsorgung: CO<sub>2</sub>-Bilanz

## Transport zur Entsorgung:

- 8 kg CO<sub>2</sub>/Tonne je 100 km Entfernung (beladener Sattelzug)
- Durchschnittliche Transportentfernung:  
Projektstandort → neue Bundesländer: 400 km  
→ **Hin+Zurück: 800km => 64 kgCO<sub>2</sub>/t**

## Bodenwäsche:

- Strom: 4,5 kWh/t => 1,9 kgCO<sub>2</sub>/t (Strommix 2023)
  - Diesel: 0,125 l Diesel/t => 0,33 kgCO<sub>2</sub>/t
  - Entsorgung von 5% des INPUT: 3,2 kgCO<sub>2</sub>/t
  - Aktivkohle: 0,24 kg WAK/t reaktiviert: < 0,24 kgCO<sub>2</sub>/t
- **Gesamt: <6 kgCO<sub>2</sub>/t**



# Waschversuche im Technikumsmaßstab



## Behandlung von Böden aus anderen Standorten

- Charakterisierung der entstehenden Fraktionen
- Erkennen von hindernden Randbedingungen
- Vorschlag für eine geeignete Behandlungssequenz und Verfahrensauswahl

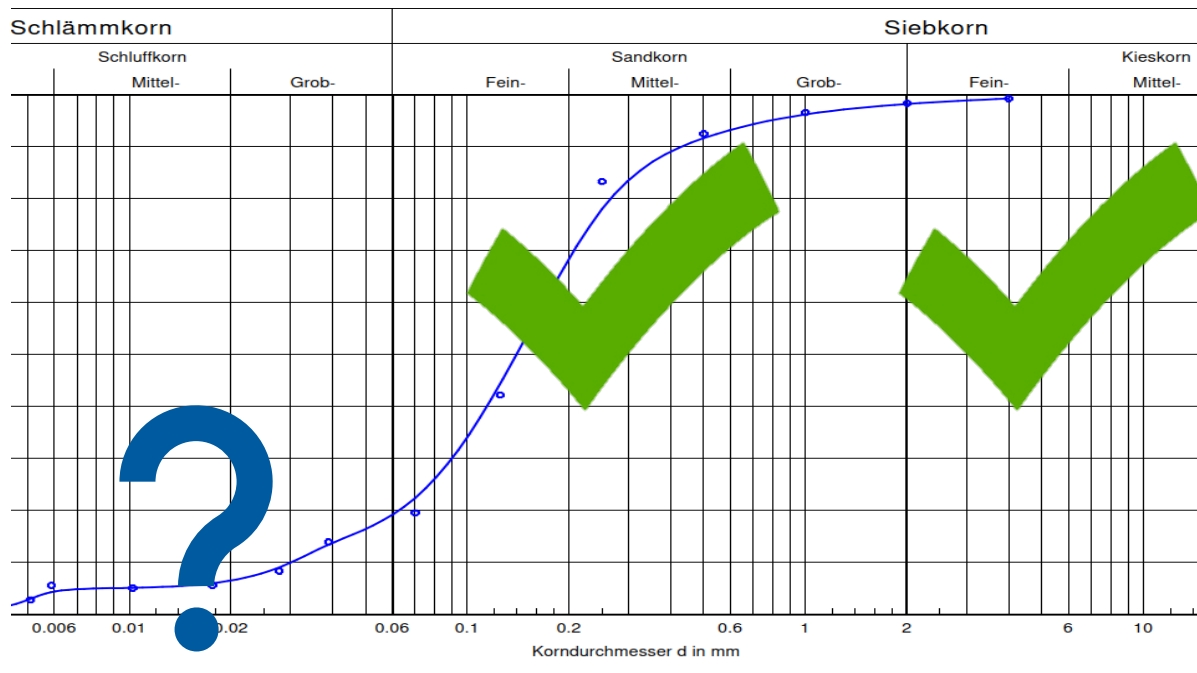
# Waschversuch Technikum am Beispiel



Ausgangsmaterial Oberschicht (OS)		Aufgabe OS 100%, 710kg, 490µg/l				
1. Waschgang	Produkt 1 42,25m%, 300kg, 0,48µg/l	Feinsand 1 4,79m%, 34kg, 0,3µg/l	Grobgut 1 30,9m%, 220kg, 12µg/l	Organik 0,54m%, 3,8kg	Feinstfraktion 1 21,4m%, 152kg, 11µg/l	
2. Waschgang	Produkt 2 39,4m%, 280kg, 0,087µg/l	Feinsand 2 2,5m%, 18kg, 0,54µg/l	Grobgut 2 4,5µg/l		Feinstfraktion 2 0,62m%, 9kg	

- Boden waschbar
- Erfordernis eines zweiten Waschganges auf Projektskala zu prüfen
- Grobgutaufschluss zu verbessern

# Zusammenfassung



- Das Bodenwaschverfahren ist für viele PFAS-Schadensfälle geeignet
  - Sehr gute Ergebnisse in Grobfraktion
  - Verbesserungspotential in der Feinfraktion

# Ausblick: Anwendungsforschung



## PFAS-Wäsche der Feinfraktion verbessern

- Zusätzliche Schadstoffsenken?
- Laborversuche zu
  - Bindungs- und Lösungsmechanismen
  - Klassiermöglichkeiten der Feinfraktion
- Experimentelle Ansätze

## Ziel

- Such nach Ansätzen für die Projektskala
  - Technisch machbar
  - Finanzierbar
- Schwierigkeit des „Upscaling“s wird oft unterschätzt!

Ich freue mich auf Ihre Fragen.

Dr. Benjamin Faigle

Züblin Umwelttechnik GmbH  
benjamin.faigle@zueblin.de  
www.zueblin-umwelttechnik.com



**ZÜBLIN**  
WORK ON PROGRESS

# Zielwerte zum Wiedereinbau von Boden

## Deutschland

	<b>VK 1</b> Uneingeschränkter offener Einbau	<b>VK 2</b> Eingeschränkter offener Einbau in Gebieten mit erhöhten PFAS- Gehalten	<b>VK 3</b> Eingeschränkter Einbau in technischen Bauwerken mit definierten Sicherungsmaßnahmen
Perfluorbutansäure (PFBA)	≤ 10,0	≤ 20,0	≤ 50
Perfluorhexansäure (PFHxA)	≤ 6,0	≤ 12,0	≤ 30
Perfluorooctansäure (PFOA)	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1
Perfluorononansäure (PFNA)	≤ 0,06	≤ 0,12	≤ 0,6
Perfluorbutansulfonsäure (PFBS)	≤ 6,0	≤ 12,0	≤ 30
Perfluorhexansulfonsäure (PFHxS)	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1
Perfluorooctansulfonsäure (PFOS)	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1

Tabelle 1: Vorläufige maximal zulässige Konzentrationen im W/F 2:1-Eluat in µg/l für die entsprechende Verwertungskategorien (GFS-basierte Werte)

Perfluorpentansäure (PFPeA)	≤ 3,0	≤ 6,0	≤ 15
Perfluorheptansäure (PFHpA)	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 3
Perfluordecansäure (PFDA)	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1
Perfluorheptansulfonsäure (PFHpS)	≤ 0,3	≤ 0,6	≤ 3
1H,1H,2H,2H- Perfluorooctansulfonsäure (H4PFOS)	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1
Perfluorooctansulfonamid (PFOSA)	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1
Weitere PFAS	≤ 0,1	≤ 0,2	≤ 1

Tabelle 2: Vorläufige maximal zulässige Konzentrationen für Orientierungswerte im W/F 2:1-Eluat in µg/l für die entsprechenden Verwertungskategorien (GOW-basierte Werte)

## International

- Nicht auf Basis einer Eluatsanalyse [µg/l] sondern einer Feststoffanalyse [µg/kg]
- Einbaugrenzwerte meist zwischen 1 µg/kg und 10 µg/kg